

## Flexible Wertschöpfung mit MaaS

M. M. Hertwig, J. Lentjes, T. Komenda

Befähigt durch Digitalisierung erfolgte die Formung von Industrie 4.0, wodurch Produktion kleiner Losgrößen unter wettbewerbsförderlichen Rahmenbedingungen möglich wird. Eine kleinteilige, bedarfsorientierte Wertschöpfung ermöglicht Fertigungskapazitäten als Dienstleistung anzubieten. Für die Umsetzung von Manufacturing-as-a-Service Ansätzen stellt dies die Basis dar. Service-basierte Fertigungsansätze bieten das Potenzial der Steigerung von Flexibilität, um resilienter und nachhaltiger zu produzieren.

**Application of networked manufacturing services to increase sustainability and resilience in Production**

## Flexible Value Creation by use of MaaS

Enabled by digitalisation, Industry 4.0 was born, facilitating the production of small batch sizes under conditions that stimulate competitiveness. Small-scale, demand-orientated value creation enables manufacturing capacities to be offered as a service. This forms the basis for the implementation of manufacturing-as-a-service approaches. Service-based manufacturing approaches offer the potential to increase flexibility in order to realise more resilient and sustainable production.

Produktionsmanagement, Industrie 4.0, Technologietransfer

### 1 Einleitung und Motivation

Durch die Einführung des Paradigmas Industrie 4.0 wurde die Erschließung neuer Geschäftspotenziale durch innovative Produktionssteuerung angestrebt [1]. Doch neben der Nutzung von Optimierung von Produktion auf Basis von Daten sind nur begrenzt Organisationsinnovationen in Produktionsunternehmen erfolgreich implementiert worden. Auch haben sich vielfach die Lieferketten nur geringfügig verändert, wodurch diese in Krisensituationen anfällig waren. So geschehen in der Hochphase der COVID-19 Pandemie und der geopolitischen Erschütterungen durch den Ukraine-Überfall. Viele Unternehmen haben etablierte Lieferketten und Lieferantennetzwerke analysiert und Veränderungen geplant. Da die etablierten Lieferbeziehungen unter Optimierung von Kosten-, Verfügbarkeits- und Dynamikkriterien optimiert sind, sind neue Mechanismen erforderlich, um durch Veränderung die Wettbewerbsfähigkeit nicht einzubüßen.

Hier wird ein daten-getriebenes Produktionsmanagement als vielversprechend betrachtet. Damit wird insbesondere eine flexibel skalierbare Gestaltung der Fertigung angestrebt, um die als brüchig, ängstlich, nicht-linear und sogar unbegreiflich (brittle, anxious, non-linear, incomprehensible – BANI) beschriebenen Rahmenbedingungen besser zu beherrschen [2]. Denn volatilen Zeiten stehen etablierte Prozesse stärker unter Risiko, wodurch ein zügiges Reagieren nötig werden kann. Mittels Datenanalyse aus der Fertigung soll ein besseres Verständnis der Wirkungen erzeugt werden, um so bei Abweichungen nachsteuern zu können. Jedoch gelingt es damit hauptsächlich die Prozesse innerhalb der Fabrik zu optimieren. Um vergleichbare Effekte in der Lieferkette zu erzielen, bedarf es Zugriff auf die Daten hinreichender Alternativen, um Ausfällen und Verzögerungen entgegenzuwirken.

Ein neuer Ansatz für die Gestaltung resilienter Wertschöpfung ist eine dienstleistungsorientierte Gestaltung der Fertigung. Mit Manufacturing-as-a-Service (MaaS) soll Wertschöpfung kleinteilig und bedarfsorientiert ermöglicht werden [3]. Dabei werden Fertigungsfähigkeiten geeignet gebündelt als Dienstleistung am Markt verfügbar gemacht. Dieser Ansatz bietet sowohl Potenziale für das Anbieterunternehmen als auch den potenziellen Kunden flexibel, auf geänderte Rahmenbedingungen zu reagieren und damit Anforderungen der Nachhaltigkeit und Resilienz zu erfüllen.

## **2 Service-orientierte Wertschöpfung in Produktionsnetzwerken**

Die zunehmende Menge an Daten verändert Kommunikation und Geschäftsprozesse. Global wurden im Jahr 2023 Daten im Volumen von 126,35 Zetabyte ( $10^{18}$  Byte) erzeugt, was eine Verdopplung gegenüber 2020 und eine 25-fache Steigerung gegenüber 2011 – dem Startjahr der Industrie-4.0-Initiative – entspricht [4]. Prognosen deuten darauf hin, dass das globale Datenvolumen in den kommenden Jahren weiterhin exponentiell wachsen wird. Ein signifikanter Anteil dieser Daten entstammt mittlerweile dem industriellen Sektor. Die systematische Nutzung und Verwertung dieser Daten bietet erhebliche Chancen, sowohl interne Prozesse zu optimieren als auch neue externe Wertschöpfungspotenziale zu erschließen [5]. Dennoch bleiben die praktische Nutzung und Monetarisierung industrieller Daten hinter den Erwartungen zurück. Erhebungen zufolge wird nur ein geringer Anteil der in der Industrie erzeugten Daten genutzt, etwa 80 % der Daten bleiben ungenutzt [6].

Auf Grundlage der verfügbaren Daten ergibt sich das Potenzial, auch industrielle Prozesse verstärkt dienstleistungsorientiert zu gestalten. Denn die Fülle an Daten ermöglicht eine verbesserte Prozessbeschreibung, verspricht kürzer Rüst- und Einfahr-Prozesse und kostenoptimiertes Produzieren auch bei kleinen Stückzahlen. Eine stärkere Verzahnung der Wertschöpfungsbeteiligten innerhalb eines Produktionsnetzwerkes ermöglicht eine flexiblere und kundenorientierte Produktion. Die service-orientierte Wertschöpfung trägt somit zur Schaffung nachhaltiger Wettbewerbsvorteile und zur Anpassungsfähigkeit an dynamische Marktbedingungen bei [7].

### **2.1 Produktionsnetzwerke und lokal vernetzte Produktion**

Die Digitalisierung in der Produktion dient als befähigendes Element, um Prozesse besser zu beschreiben und mittels Daten zu steuern. Eine daten-basierte Beschreibung von Prozessen erlaubt die Aggregationen von Daten und Information aus verschiedenen Quellen: Die vernetzten Informationen erlauben es durch geeignete Strukturierung Aufgabenrelevante Teile zu nutzen. So kann eine zeitoptimierte Abstimmung über Organisationsgrenzen hinweg ermöglicht werden.

Dies ist eine relevante Voraussetzung, um effiziente Produktionsnetzwerke zu etablieren, die ein zentrales Konzept moderner Fertigung darstellen. Dabei werden miteinander verbundene Produktionsstätten strategisch verteilt, aus unterschiedlichen Motiven auch häufig geografisch [8]. Ein Produktionsnetzwerk umfasst dabei sowohl interne Produktionsstandorte wie auch externe Partner (Zulieferer, Hersteller und Distributoren), die sich durch eine komplexe Beziehung zwischen verschiedenen Akteuren in der Wertschöpfungskette auszeichnen. Diese Netzwerke ermöglichen eine flexible Reaktion auf Marktveränderungen, was die Umsetzung von Just-in-Time- und Lean-Prinzipien erleichtert, inklusive einer schnellen Adaption an geänderte Kundenbedürfnisse in lokalen Märkten. Zusätzlich bietet die Dezentralisierung der Produktionsstätten das Potenzial einer effizienten Ressourcennutzung [9]. Außerdem können Unternehmen von regionalen Kostenvorteilen, wie niedrigeren Löhnen oder günstigeren Rohstoffpreisen, profitieren. Dies ist unter anderem ein Grund, weshalb sich dieser Ansatz insbesondere in der Automobilindustrie durchgesetzt hat. Die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien spielt eine entscheidende Rolle, um den Austausch von Daten und die Koordination der Abläufe zwischen den einzelnen Standorten zu optimieren [10].

Die zunehmenden Anforderungen im Kontext Nachhaltigkeit und Verträglichkeit für das ökologische und soziale Umfeld haben eine Übersetzung auf den lokalen Maßstab angestoßen. Die Etablierung lokaler vernetzter Produktionen zielt darauf ab, die Wertschöpfungsstufen innerhalb eines geografischen Gebiets zu etablieren. Ein wichtiges Ziel ist dabei auch die regionale Nähe zu Kunden, passenden Arbeitskräften und möglich Produktionsressourcen. Dies fördert nicht nur die regionale Wirtschaft, sondern reduziert auch Transportkosten und -zeiten, wodurch eine nachhaltigere und umweltfreundlichere Produktionsweise entsteht [11]. Der Einsatz von modernen Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglicht diese Art der Wertschöpfungsorganisation. Ein Ansatz in diesem Kontext stellt die urbane Produktion dar, die neben dem Einklang von ökonomischer Leistungsfähigkeit, sozialer und ökologischer Verträglichkeit auch eine Einbettung in urbane Systeme anstrebt. Hierbei wird durch technologische Innovationen in der Produktion und besserer Vernetzung mit Stakeholdern im Umfeld angestrebt, Verschwendung zu minimieren und Ressourcen optimal einzusetzen. Außerdem ermöglicht dieser Ansatz eine Transformation von alt-industriellen Strukturen hin zur modernen Wirtschaftsgestaltung im Quartier. Die Nähe zwischen den Beteiligten, aber auch potenziellen Kunden, benötigten Personalressourcen und gesellschaftlichen Vertretern unterstützt einen kurzfristigen Austausch und damit die Steigerung der Innovationskraft. Durch agile Produktionsmethoden, eine hohe Anpassungsfähigkeit an lokale Marktbedingungen und die stabile Zusammenarbeit zwischen den Entitäten lassen sich weitere Wettbewerbsvorteile zu erlangen. Denn

besonders effektive Treiber in der Realisierung sind der Einsatz neuer Produktionsverfahren, digitaler Datennutzung und gut ausgebildeter Fachkräfte [12].

## **2.2 Service-orientierte Fertigung und Produktionsdienstleistungen**

Service-orientierte Fertigung ist ein innovativer Ansatz, der sich aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Industrie 4.0 und datenbasierten Produktionsprozessen herausgebildet hat [13]. Der Ansatz zeichnet sich durch eine verstärkte Integration von Dienstleistungen sowie eine erweiterte Gestaltung von Wertschöpfungsprozesse aus. Im Gegensatz zu Produktionsnetzwerken findet nicht ausschließlich eine Optimierung von Fertigungsabläufen und Materialflüssen statt. Vielmehr liegt ein Fokus auf der Bereitstellung von Mehrwertdiensten, die den Kundenbedürfnissen gerecht werden, die service-orientierte Fertigung, eine kundennahe Interaktion und die Entwicklung individueller Lösungen, was zu einer erhöhten Kundenzufriedenheit führt. Im Vergleich zur lokal vernetzten Produktion, die die räumliche Nähe zu Märkten und Rohstoffen betont, hebt sich die service-orientierte Fertigung durch die Schaffung eines ökosystemartigen Ansatzes hervor, bei dem Dienstleistungen als integraler Bestandteil der Wertschöpfung betrachtet wird.

Im Gegensatz zur service-orientierten Fertigung, die die Integration von Dienstleistungen in den gesamten Produktionsprozess fokussiert, konzentrieren sich Fertigungsdienstleistungen auf die Schaffung von spezifischen Tätigkeiten, die entlang der Wertschöpfung benötigt werden [14]. Diese lassen sich punktuell oder als Bestandteil der Wertschöpfung integrieren. Im Gegensatz zu service-orientierter Fertigung, die den Kunden ins Zentrum stellt, sind Fertigungsdienstleistungen eher transaktional und können auch in einem vernetzten, netzwerk-organisierten Produktionskontext erbracht werden. Sie ermöglichen die Kooperation verschiedener Akteure fähigkeitsorientiert zu entwickeln und zu nutzen, und damit Modularisierung in der Wertschöpfung zu unterstützen [15]. Die Dienstleistungstiefe hängt maßgeblich von den technischen Fähigkeiten, verfügbaren Ressourcen und der etablierten Organisation ab. Prinzipiell sind Fertigungsdienstleistungen als Bereitstellung spezifischer Fertigungsfähigkeiten zu klassifizieren. Der Kunde erhält damit einen optimalen Fertigungsprozess(-schritt) vom Dienstleister. Dabei werden spezifische Kenntnisse und Technologien als Dienstleistung gefasst und angeboten [16].

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass beide Ansätze sich durch einen hohen Grad an Kunden- und Marktorientierung auszeichnen. Damit ermöglichen sie eine flexible Reaktion und hohe Adaptionsfähigkeit, was Wettbewerbsvorteile mit sich bringt. Gleichsam lassen sich mit dem agilen Ansatz auch innovative Ansätze realisieren und Aspekte der Nachhaltigkeit bzw. multidimensionaler Verbesserung berücksichtigen.

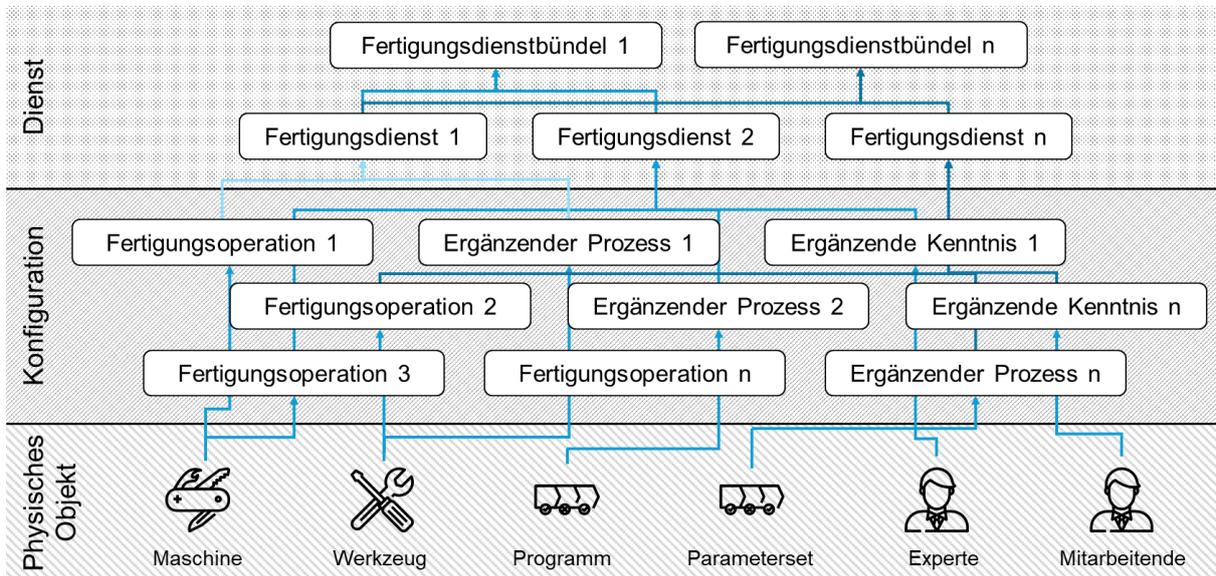
## **3 Abgrenzung von Manufacturing as a Service**

Eine Service-orientierung in der Produktion bietet vielfältige Vorteile. Insbesondere besitzt Manufacturing-as-a-Service (MaaS) das Potenzial, bestehende Lieferketten zu transformieren. Denn aus linearen Lieferketten lassen sich durch kleinteilige, bedarfsgerechte Fertigungsdienstleistungen vernetzte und adaptive Fertigungsnetzwerke ausprägen. Die Vielfalt und Spezifität der Fertigungsdienstleistungen befähigen eine schnelle Reaktion auf sich ändernde Rahmenbedingungen. Durch das Vernetzen einzelner Fertigungsfähigkeiten lassen sich kosteneffektive, skalierbare und schnelle Lösungen bilden. Dies gilt nicht ausschließlich unter normalen Betriebsbedingungen, sondern kann besonders bei Erschütterungen und Unterbrechungen in der Lieferketten (von Belieferung bis Bereitstellung) relevant werden. Eine Transformation von produktions-orientierter zu einer service-orientierter Fertigung wird durch Cloud Manufacturing ermöglicht [17].

Verschiedene Abgrenzungen sind in der Literatur zu finden; durch Schuseil et al. [18] erfolgte eine Zusammenführung relevanter Elemente mit dem Ziel der übergreifenden Definition:

Manufacturing-as-a-Service ist ein dienstleistungsbasiertes Produktionskonzept, welches durch Fertigungsdienste (Manufacturing Services = MfgS) möglich wird. Befähigend wirkt dabei der Ansatz des Cloud-basierten Produktionsmanagements (Cloud-Manufacturing = CMfg). Dabei erfolgt die Verarbeitung von Daten und Informationen über eine Plattform, um verschiedene Beteiligte zusammenzubringen und den Austausch zwischen diesen zu ermöglichen.

In **Bild 1** ist in Anlehnung an Kusiak [19] eine Unterteilung der Fertigungsdienste dargestellt, wobei eine Unterteilung in Dienst, Konfiguration und physisches Objekt vorgenommen ist. Die Physischen Objekte besitzen Fähigkeiten, die für die Durchführung einer Fertigungsoperation oder ergänzende Prozesse nötig sind. Durch eine geeignete Kombination der Fähigkeiten lassen sich unterschiedliche Fertigungsdienste konfigurieren, die ebenso zu Fertigungsdienstbündeln verknüpft werden können.



**Bild 1.** Unterteilung der Fertigungsdienste vom physischen Objekt zum Dienst. Grafik: Fraunhofer IAO.

Für eine Abgrenzung (**Tabelle 1**) von Manufacturing-as-a-Service von Cloud-Manufacturing (CMfg), Manufacturing Grid (MGrid) und Outsourcing erfolgte eine Konkretisierung der wichtigen Merkmale [18]. So können bei MaaS die Fertigungsdienste sowohl geografisch als auch logisch verteilt sein. Weiterhin zeichnet sich MaaS primär durch eine bedarfsgetriebene und zumeist kurzfristig orientierte Zusammenarbeit aus. Außerdem limitiert die kleinteilige Gestaltung von Diensten den Austausch nicht auf eine Branche, sondern ermöglicht neue Ansätze zur industrie-übergreifenden Zusammenarbeit.

**Tabelle 1.** Unterscheidung der Produktionsparadigmen basierend auf wichtigen Merkmalen. Grafik: Fraunhofer IAO.

Dienstleistungsorientierte Produktionsparadigmen		Manufacturing-as-a-Service (MaaS)	CloudManufacturing (CMfg)	Manufacturing Grid (MGrid)	Outsourcing
Abgrenzungsmerkmale	Werte	Erfüllungsgrad: erfüllt ( ), unter bestimmten Bedingungen (w) und nicht erfüllt (ū)			
Geografische Abgrenzung	Physische Verteilung (verschiedene Standorte)				
	Logische Verteilung und physische Verteilung				ū
Zeitliche Abgrenzung	Logische Verteilung (innerhalb derselben Einrichtung)		w	ū	ū
	Kurzfristig (nachfrageorientierte Zusammenarbeit)			ū	ū
Abdeckung der Wertschöpfungskette	Langfristig (Vertragsabschluss)	ū			
	Verschiedene Wertschöpfungsstufen entlang Lieferkette	ū	ū		
	Komponenten /Systeme	ū			
Branchenschwerpunkt	Fertigungsdienstleistungs-bündel				ū
	Fertigungsdienste		ū	ū	ū
Branchenschwerpunkt	Branchen-/Industrieübergreifend			w	ū
	Branchen-/Industrieintern				

## 4 Potenziale und Hürden für die produktive Umsetzung

Basierend auf der obigen Begriffsdefinition lässt sich ableiten, dass MaaS auf unterschiedlichen Detailebenen Anwendung finden kann. Voraussetzung dafür ist neben der Schaffung der organisatorischen Rahmenbedingungen auch die technologische Basis. Zu dieser zählt, dass Prozessdaten mehrheitlich vorliegen und teilweise Prozesse auch digital beschrieben sind. Unterstützende Methoden für die Modellierung können dabei Structured Analysis and Design Technique (SADT) oder Unified Modeling Language (UML) sein, um Stoffströme und Informationsflüsse maschinenlesbar zu formalisieren [20].

Zusätzlich hat die Diskussion um die Dienstleistungsorientierung in der Fertigung durch die BANI-Realität an Fahrt aufgenommen. Denn die flexible Gestaltung von Wertschöpfungsketten vermag Unterbrechungen von Lieferketten, welches durch fehlende Arbeitskräfte, eingeschränkte oder verspätete Lieferungen oder ausgefallene Lieferanten auftreten können, zu adressieren [21]. Allgemein bietet die Transformation von der produkt-orientierten zur service-orientierten Produktion die Möglichkeit neue zweckorientierte, stärker regional ausgerichtete Wertschöpfungsnetze zu schaffen, wodurch Beiträge zur Widerstandsfähigkeit der Lieferketten sowie der Kreislauffähigkeit der Produktionsindustrie erfolgen können.

### 4.1 Potenzielle Mehrwerte durch zielgerichtete Anwendung

Aktuell ist eine abnehmende Zuverlässigkeit bestehender Beziehungen in Lieferketten zu erleben, wobei die Fragilität signifikant von äußeren nicht beeinflussbaren Aspekten gesteuert wird. In diesen Zeiten sind Unterbrechungen und Störungen wahrscheinlicher und haben einen größeren Impact [22]. Die Servitisierung der Produktion bietet bei entsprechender Gestaltung durch eine kleinteilige und flexibel gestaltbare Vernetzung von Wertschöpfungspartnern verschiedene Potenziale:

- **Steigerung der Reaktionsfähigkeit:**  
Durch eine kleinteilige Verknüpfung von Fertigungsschritten lassen sich diese einfacher deterministisch beschreiben. Dies ermöglicht die Suche und den Abgleich von Bedarfsprofil und Angebot schneller durchzuführen. Dies ist ein Vorteil gegenüber komplexen Systemen, die durch die Verknüpfung Freiheitsgrade einschränken und eine erhöhte Anzahl an erfüllten Kriterien für die Validierung erforderlich machen. Somit lassen bei signifikant gesenktem Zeitaufwand passende Lösungen identifizieren und erste Maßnahmen zur Reaktion starten.
- **Widerstandsfähigkeit:**  
Die Reaktionsfähigkeit ermöglicht die Fähigkeit eine Krise effizienter zu bewältigen. Beispielsweise könnte dies einer Unterbrechung eines Knotens/einer Verbindung in der Lieferkette entsprechen (Transport der gelieferten Waren/Materialien oder der Stopp einer Anlage des Lieferanten selbst). MaaS kann dazu beitragen, sich zügig von derartigen Unterbrechungen zu erholen.
- **Kreislauffähigkeit:**  
Ein maximaler Mehrwert der service-basierten Fertigung gelingt, wenn Wertschöpfungsschritte modularisiert und standardisiert werden. Unterstützt durch die Cloud-Fertigung ist auch die digitale Beschreibung des Produktes einfacher, was die Anwendung der relevanten RE-Strategien entlang des Produktlebenszykluses erleichtert. Dabei haben die RE-Strategien zum Ziel, den Verbrauch von natürlichen Ressourcen zu reduzieren und eine Kreislaufführung zu ermöglichen [23]. Auch können die beteiligten Fertigungsorganisationen ihren Materialeinsatz optimieren, und gar durch Einbringen ihrer spezifischen Expertise zu einem besser reparierbaren (länger in Gebrauch), haltbareren (verlangsamter Abnutzung) und demontierbaren Endprodukt (wiederverwendbar) beizutragen.
- **Nachhaltige Produktion:**  
MaaS erlaubt eine modulare Gestaltung des Fertigungsprozesses mit reduzierter Komplexität. Das reduziert die Abhängigkeit von spezialisierten Anbietern, wodurch die Produkte innerhalb der Wertschöpfungskette lange Transportwege zurücklegen müssen. Eine optimierte Auslastung reduziert die Volatilität und erlaubt die Produktion besser an äußere Rahmenbedingungen anzupassen, um beispielsweise erneuerbare Energieangebote auszuschöpfen. Auch die optimierte Anlagennutzung optimiert den Ressourcenverbrauch in holistischer Perspektive.
- **Ressourcenoptimierung:**  
Der Ansatz der service-basierten Fertigung ermöglicht es Herstellern die Produktionsmengen bedarfsgerecht zu erhöhen oder zu senken. Durch den bedarfsorientierten Zugriff auf Produktionskapazitäten entstehen für den Kunden keine Investitionskosten oder Verluste aus

den Schwankungen. Die angebotenen Produktionskapazitäten können gleichzeitig industrieübergreifend offeriert werden, was zu einer gesteigerten Gesamtanlageneffektivität (Overall Equipment Efficiency, OEE) und einer optimierten Auslastung des qualifizierten Personals führt.

- **Kostenvorteile:**  
Der Ansatz MaaS erlaubt sowohl eine direkte als auch eine indirekte Produktionskostenoptimierung. So kann durch die kleinteilige Organisation stets die kostenoptimale Konfiguration ausgewählt werden, um Produkte zu erstellen. Damit lassen sich direkte Produktionskosten senken. Gleichsam lassen sich Kapazitätsbedarfsschwankungen ohne zusätzliche Investitionskosten oder Stillstandsaufwände realisieren. Damit reduzieren sich indirekte Anteile der Produktionskosten, die sich meist in Form von Gemeinkosten in den Produktionskosten niederschlagen. Dies kann das Unternehmen auch in die Lage versetzen, sich nachhaltig zu differenzieren und somit Wettbewerbsvorteile zu realisieren.
- **Förderung von Innovationen:**  
Die Zusammenarbeit mit spezialisierten Dienstleistern erlaubt einen schnellen Zugriff auf die individuellen Kompetenzen in fortschrittlichen Technologien. Damit wird eine Entwicklung neuer Produkte und Verbesserung von bestehenden Prozessen befähigt. Ebenso bietet der Ansatz das Potenzial Community-getriebene Ansätze, wie Crowd-Engineering zu nutzen. Damit werden Innovationen schneller marktfähig.
- **Neue Geschäftsmodelle:**  
Durch MaaS lassen sich zusätzlich zu bereits etablierten Geschäftsprozessen weitere Angebote auch mit neuen Ertragskonzepten und Geschäftsmodellen realisieren. Der Aufbau eines Produktionsnetzwerkes mit vielen kleinteiligen Fertigungskapazitäten ermöglicht es, flexibel auf geänderte Nachfragen zu reagieren oder gar gemeinschaftlich Produkte bedarfsorientiert in kleinen Stückzahlen anzubieten.

Aus Sicht der Europäischen Union bietet dieses neue Produktionsparadigma die Aussicht, die Wirtschaftsbeziehungen innerhalb der Grenzen des Staatenbundes zu stärken. Neben den bereits guten Bedingungen durch den gemeinsamen Binnenmarkt, einer mehrheitlich gleichen Währung und einem gemeinsamen Gesetzesrahmenwerk bieten die verschiedenen Staaten unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeiten und erfolgreiche Unternehmen [24]. Diese Diversität lässt sich durch dienstleistungsorientierte Fertigungsorganisation erfolgsorientiert nutzbar machen und bietet somit das Potenzial die Abhängigkeit von anderen Volkswirtschaften zu reduzieren. Außerdem lassen sich durch neue Produktionsparadigmen Innovationen in der Wertschöpfung realisieren und diese stärken, wodurch die Produktionsstandorte als attraktiver wahrgenommen werden [25].

## **4.2 Hürden für die Einführung in die industrielle Nutzung**

Auch wenn die Einführung von MaaS so viele Potenziale bietet, steht die Verbreitung und das Verständnis in krassem Gegensatz dazu. Die Hürden lassen sich gemäß dem arbeitswissenschaftlichen Ansatz in technische Herausforderungen, organisatorische Rahmenbedingungen und soziale Aspekte unterscheiden.

- **Verfügbarkeit von Daten:**  
Bedeutsam für die Nutzbarkeit aller Vorteile des MaaS-Ansatzes ist die Verfügbarkeit von Daten, um die Prozesse und deren Verfügbarkeit echtzeitnah zu ermitteln und zu beschreiben. Dafür bedarf es einer Datenaggregation aus allen datenerzeugenden Systemen, was eine horizontale Datendurchgängigkeit erforderlich macht. Gemäß der Bewertung von Hertwig et.al ist die geringe Durchdringung von Industrie 4.0 Prinzipien ein Indikator für zusätzlich nötigen Aufwand [26]. Des Weiteren fehlt es an übergreifenden Standards und einheitlichen Normen, um Prozesse zu beschreiben, Daten zu kuratieren sowie einheitlichen Schnittstellen zu Plattformen. Diese fehlende Interoperabilität stellt ein bedeutendes Hemmnis für die Einführung von MaaS dar.
- **Bereitschaft Daten und Informationen zu teilen:**  
Eine weitere Hürde ist die fehlende Bereitschaft, Daten zu teilen. Denn dies würde den Verlust der Entscheidungsmacht über diese Daten bedeuten. Dies ergänzt um die Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes und der Datensicherheit, erschwert die automatisierte Bewertung von Bedarf und Angebot. Denn ein effizienter Einsatz von MaaS beruht auf der Sammlung und Auswertung großer Datenmengen über alle Wertschöpfungsstufen hinweg.
- **Offenheit gegenüber Geschäftsmodell-Innovationen:**  
Viele produzierenden Unternehmen sind in ihrem Tätigkeitsfeld und mit ihrem Produktportfolio bereits langfristig erfolgreich, was vielfach auf ihre technologische

Innovationsfähigkeit zurückzuführen ist. Das etablierte Geschäftsmodell wird dabei selten geändert. Die Mehrzahl dieser Unternehmen ist jedoch aufgrund von Größe und Organisationsstruktur geeignet, vom MaaS-Ansatz zu profitieren. Eine der zentralen Herausforderungen ist die Notwendigkeit eines kulturellen Wandels innerhalb der Organisationen. Unternehmen müssen von traditionellen Produktionsansätzen abweichende Denkweisen und Praktiken annehmen. Denn mit der Einführung von MaaS sind nicht selten auch Veränderungen von Geschäftsmodell und Prozessen verbunden, was auch zu Widerständen in der Belegschaft führen kann. Die Herausforderung bei neuen Geschäftsmodellen ist u.a. die Akzeptanz am Markt.

- Umstellung von produkt-orientierter zu service-orientierter Fertigungsorganisation: Zusätzlich muss die Auftragsabwicklungsorganisation entsprechend gestaltet werden, um dienstleistungsorientiert Fertigungskompetenzen auspielen zu können. Dafür sind unterschiedliche Vorbereitungen zielführend, um eine Bewertung der Anfrage durchzuführen, daraus den benötigten Aufwand abzuleiten, die zeitliche Verfügbarkeit zu klären und offene Informationen für eine erfolgreiche Realisierung zu ermitteln. Je größer dabei der datenbasierte und automatisierte Anteil des Prozesses ist, desto kürzer sind Reaktionszeiten und effektiver das MaaS-Angebot im Ökosystem.
- Ein weiterer entscheidender Faktor für die Einführung und den Betrieb von Manufacturing-as-a-Service ist passend qualifiziertes Personal. Denn im Gegensatz zu hoch standardisierten und teilautomatisierten Prozessen und Produkten, sind die Kundenanforderungen nicht vollständig planbar und normiert. Auch bedarf es bei einer verstärkt daten-gestützten Beschreibung von Produktionsprozessen auch passender Kompetenzen für Datenanalyse, digitale Technologien und agile Produktionsmethoden.

## **5 Technische Ansätze für die Befähigung der industriellen Nutzung**

Neben dem Verständnis der Mehrwerte in der Industrie bedarf auch technischer Lösungen, um dem Ansatz MaaS zum Durchbruch zu verhelfen. Denn die technische Befähigung ist ein elementarer Bestandteil, um die Hürden zu überwinden und so den möglichen Mehrwert zu erzielen.

Zu den technischen Ansätzen, die unterstützend wirken, zählen software-gestützte Plattformen auf denen Anbietende und Nachfragende zusammenfinden können. Sie stellen die Basis für ein Promoten und Auffinden von Diensten dar. Plattformen bieten den Rahmen für MaaS-Ökosysteme. Weiteres befähigendes Element sind Dienste, die potenziell über die Plattform ausgespielt werden. Sie unterstützen die Ökosystem-Beteiligten durch Funktionalitäten. Zu diesen Diensten können Ident-Dienste, Kalkulations-, Such- und Bewertungsdienste zählen. Diese Services können zentral über die Plattform-Betreiber oder dezentral durch Nutzende bereitgestellt werden.

### **5.1 Daten- und Service-Ökosysteme**

Die geringe Ausnutzung von industriellen Daten in der Wertschöpfung hemmt die Etablierung innovativer Geschäftskonzepte und verhindert damit ein zusätzliches Wirtschaftswachstum neben der physischen Produktion und Gütererstellung. Zu den Hauptursachen zählen eine unzureichende Interoperabilität von Datensystemen, Bedenken hinsichtlich Datensicherheit und Datenschutz sowie ein Mangel an geeigneten Geschäftsmodellen und Dienstleistungsangeboten. Diese Herausforderungen zu überwinden ist der Anspruch der industriellen Daten- und Service-Ökosysteme (DSÖ), die auf den Prinzipien von Gaia-X basieren. Sie ermöglichen einen souveränen und interoperablen Daten- und Serviceaustausch über Unternehmensgrenzen und Plattformen hinweg sowie die Bereitstellung, Auffindbarkeit und Nutzung digitaler Services und Datenprodukte [27]. Dadurch schaffen sie die Grundlage für innovative Wertschöpfungsmodelle, die auf Daten und datenbasierten Dienstleistungen beruhen, und eröffnen Unternehmen neue Möglichkeiten, bisher ungenutzte Datenressourcen für die Entwicklung neuartiger Geschäftsmodelle zu aktivieren [28].

Ein konkretes Beispiel für ein solches Ökosystem ist Pontus-X. Pontus-X ist ein nicht-proprietäres, offenes und dezentrales System auf Basis der Gaia-X Standards. Es ist der Gegenentwurf zu zentralisierten Plattformen, die eine Abhängigkeit von einem einzelnen Anbietenden oder einer Betriebsorganisation und damit verbundene Lock-in-Effekte verursachen können [29]. Stattdessen wird durch ein gemeinschaftlich von den Teilnehmenden gestaltetes Rahmenwerk eine faire und transparente Kollaborationsumgebung geschaffen. Mittels einer Bedienoberfläche (Graphical User Interface - GUI) erfolgt der Zugriff auf einen föderierten Katalog, in dem Funktionen zur Veröffentlichung, Entdeckung und zum Konsum von Datenprodukten und digitalen Services angeboten sind. Seit der

Entwicklung durch das Unternehmen deltaDAO AG im Jahr 2021 erfolgt inzwischen der Betrieb durch 19 Unternehmen und Institutionen gemeinsam. Zahlreiche Leuchtturmprojekte und internationale Initiativen, darunter EuProGigant, Gaia-X 4 Future Mobility, COOPERANTS, ACCURATE, Service-Meister, Autowerkstatt 4.0, DIONE-X und agrifood TEF, nutzen Pontus-X und sein Open-Source-Framework als Grundlage für ihre Aktivitäten.

### 5.1.1 Effektiver rechtsicherer Vertragsschluss mittels Smart Contracts

Das Pontus-X Ökosystem beruht auf Standards von Gaia-X. Neben den angebotenen Service-Funktionen im föderierten Katalog, stellt das Framework ebenso Mechanismen für Verträge bereit. So lassen sich Vertragsverhandlungen und rechtssichere Vertragsabschlüsse zwischen Serviceanbietenden und Konsumenten über die Plattform schließen. Dies geschieht durch ein automatisiertes Vertragswerk, das auf Smart Contracts basiert. Die Verträge werden stets direkt zwischen den verhandelnden Parteien geschlossen, wobei der Serviceanbieter die volle Kontrolle über die Vertragsbedingungen behält. Die Smart Contracts gewähren automatisiert Zugriff auf die angebotenen Services, basierend auf den in den Vertragsbedingungen festgelegten Richtlinien. Dieser Ansatz erhöht die Effizienz und Transparenz von Transaktionen innerhalb des Ökosystems und stärkt die Vertrauensbasis zwischen den Beteiligten, indem er rechtliche und operative Sicherheit gewährleistet [30].

### 5.1.2 Sicherstellung der Daten-Souveränität durch Compute-to-Data

Da eine signifikante Hürde für die Nutzung von Sharing-Ansätzen die datenseitige Hoheit ist, ermöglicht die Compute-to-Data (C2D)-Komponente die technische Souveränität über Daten in Pontus-X. Basierend auf dem Compute-to-Data Ansatz werden sensible Daten sicher und effizient direkt an ihrer Quelle verarbeiten. Vertrauliche Rohdaten verlassen dabei nie ihren ursprünglichen Speicherort, wodurch kein anderer Partner hoheitliche Rechte über die Daten erhält. Dieses Vorgehen trägt signifikant zur Reduktion der Datenschutzrisiken und Übertragungskosten bei, da die sensiblen Daten nicht auf anderen Speicher- bzw. Berechnungseinheiten übertragen werden. Dabei geht Compute-to-Data über traditionelle Modelle der Datenfreigabe hinaus, indem es Ökosystem-Teilnehmenden ermöglicht, nicht nur Datensätze, sondern auch containerisierte Software-Assets zu veröffentlichen. Dieser Ansatz ermöglicht es allen Ökosystem-Entitäten, benutzerdefinierte Algorithmen, Simulationswerkzeuge, KI-Modelle und andere spezialisierte Fertigungsanwendungen sicher in das DSÖ zu integrieren (**Bild 2**), ohne zugrunde liegendes geistiges Eigentum oder proprietäre Kenntnisse preiszugeben [31].

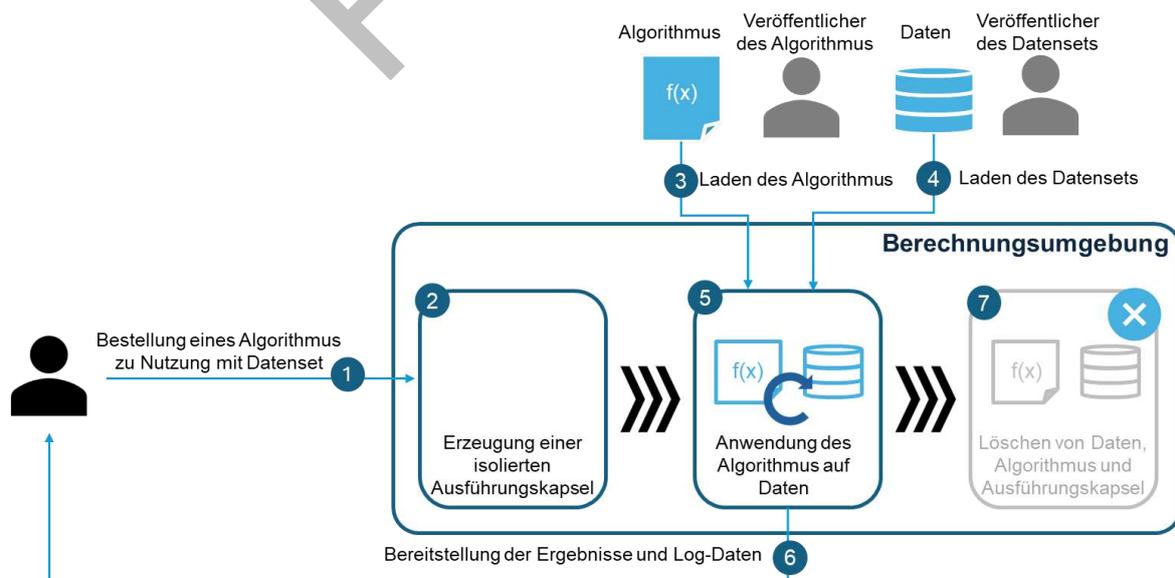


Bild 2. Vereinfachte Darstellung des Compute-to-Data Ansatzes im föderierten Datensystem in Anlehnung an [30]. Grafik: deltaDAO.

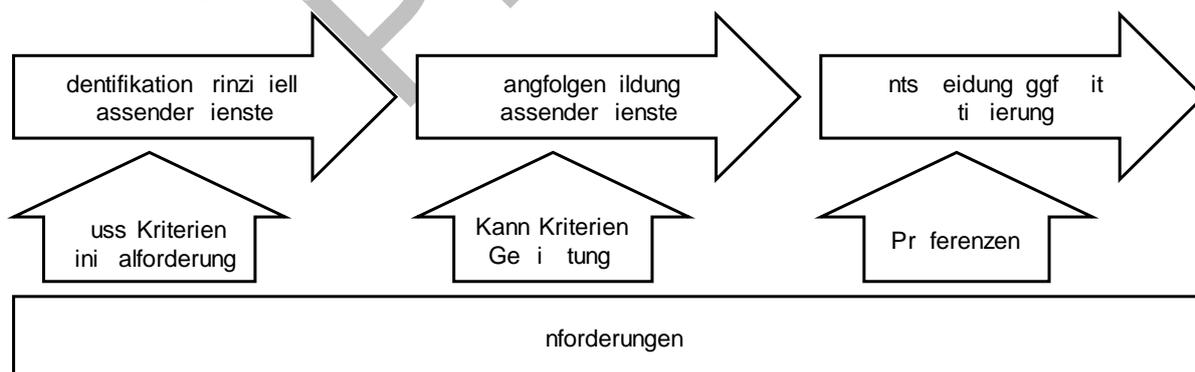
Durch den tokenisierten Zugang auf Basis von Smart Contracts (**Bild 2 - 1**) wird der Zugriff auf containerisierte Algorithmen, Softwarekomponenten und Datensätze ermöglicht [32]. Durch eine Erzeugung einer gekapselten für den jeweiligen Anwendungsfall geschaffenen Ausführungsumgebung (**Bild 2 - 2**), lassen sich Elemente aus verschiedenen Quellen verbinden und ausführen (**Bild 2 - 3-5**). Anwendungsfälle sind föderierte Datenanalysen, Lernverfahren unter Nutzung verteilter Datensätze und die Modellbildung über verschiedene Serviceanbieter hinweg. Nach Übergabe der Resultate an den Bedarfsträger (**Bild 2 - 6**) wird die Anwendungsumgebung gelöscht (**Bild 2 - 7**), wodurch sichergestellt ist, dass keine Zentralisierung oder Aufgabe des geistigen Eigentums nötig ist [33].

Mit den genannten Funktionalitäten bietet Pontus-X den Wegbereiter für Manufacturing-as-a-Service (MaaS), indem Fertigungskapazitäten über den föderierten Katalog flexibel als Dienstleistung bereitgestellt werden, Smart Contracts für eine schnelle und sichere Vertragsabwicklung genutzt werden und die Datensouveränität durch Compute-to-Data sichergestellt wird

## 5.2 Verknüpfung von Servicenachfrage und -angebot

Eine Herausforderung bei der Realisierung von MaaS ist die Identifikation passender Fertigungsdienstleistungen, die möglichst optimal auf die Anforderungen der Kunden abgestimmt sind. Ein Grund hierfür ist der Aufwand, den der Abgleich von Fertigungsdienstleistungen mit den gestellten Anforderungen mit sich bringt - insbesondere, wenn dies manuell erfolgt. Eine mögliche Lösung für diesen Abgleich verfügbarer Fertigungsdienstleistungen mit produktseitigen Anforderungen ist ein stufenweises Vorgehen, bei dem zunächst aus den Anforderungen resultierende Muss-Kriterien auf ihre Erfüllung durch die Fertigungsdienstleistungen überprüft werden. Für damit als prinzipiell passend identifizierte Fertigungsdienstleistungen kann dann eine „Passung“ auf der Grundlage von Kann-Kriterien und damit eine Rangfolge ermittelt werden. Die resultierende Rangfolge kann dann als Eingangsinformation für die Entscheidung durch den Anwender, auch unter Anwendung eines Optimierungsverfahrens, dienen. Das resultierende Vorgehen ist in **Bild 3** visualisiert.

Zur Reduktion manueller Aufwände der Anwender wurden für die drei Stufen des Lösungsansatzes zur Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl eines möglichst passenden Fertigungsdienstes für das in Kapitel 5.1 vorgestellte dezentrale Plattform-basierte Ökosystem entwickelt. Die Services ermöglichen Eingabe und Verwaltung sowohl von dienstleistungsspezifischen als auch von anforderungsbezogenen Daten und unterstützen auch den eigentlichen Abgleich zur Identifikation möglicher Dienste, deren Rangfolgenbildung sowie von Fragestellungen der Optimierung im Rahmen der Entscheidungsfindung.

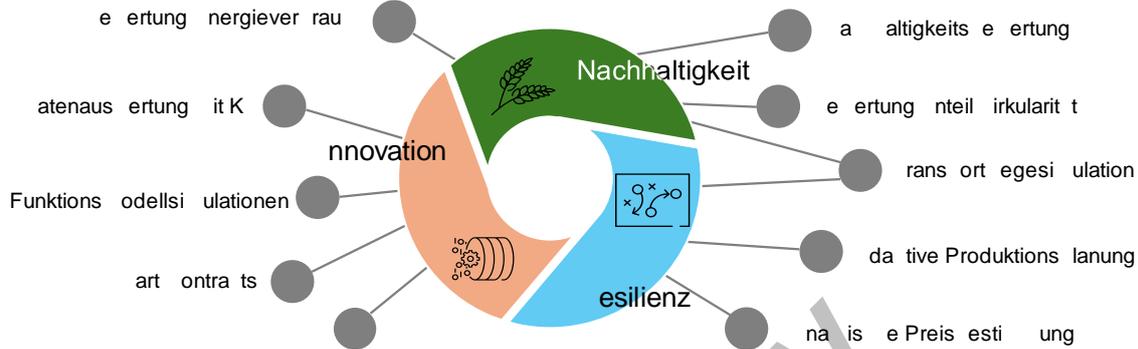


**Bild 3.** Auswahl einer Fertigungsdienstleistung. Grafik: Fraunhofer IAQ.

Die Services sind als Web-Services bzw. Web-Applikationen für die Anwendung per Internetbrowser realisiert. Das Matchmaking zur Identifikation potenziell geeigneter Fertigungsdienstleistungen und die Ermittlung von Rangfolgen stellen ihre Funktionalitäten programmatisch zur Verfügung und können bei Bedarf über eine spezifische Web-Applikation aufgerufen werden, so dass sie nicht nur von anderen Softwarebausteinen, sondern auch von Anwendern aufgerufen werden können. Ein Service zur Optimierung des Einsatzes von Fertigungsdienstleistungen steht als Web-Anwendung mit grafischer Benutzungsoberfläche zur Verfügung. Darüber hinaus wird ein Web-Service für Speicherung und Verwaltung von Informationen bereitgestellt.

### 5.3 Weitere IT-gestützte Funktionen und Services für das Ökosystem

Der bedeutende Vorteil eines föderierten Plattform-basierten Ökosystems ist die Möglichkeit jedes Partners im Ökosystem existierende Services zu nutzen und wenn nötig fehlende zu ergänzen. Aufbauend hierauf können weitere IT-gestützte Services ins Ökosystem eingebracht werden, um die Etablierung eines Manufacturing-as-a-Service Ökosystems zu unterstützen. Die Potenziale von MaaS-Ansätzen lassen sich in drei Hauptdimensionen – Nachhaltiger Produzieren, Flexible Marktreaktion und innovative Betriebskonzepte – aggregieren (**Bild 4**).



**Bild 4.** Weitere IT-gestützte Funktionen gemäß den Mehrwert-Dimensionen von MaaS. Grafik: Fraunhofer IAO.

Diese und weitere IT-gestützten Funktionen lassen sich vergleichbar mit der Funktion Verknüpfung von Servicenachfrage und -angebot (siehe Kapitel 5.2) in Form von Web-Services über das Ökosystem ausspielen.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Der Artikel untersucht die service-orientierte Wertschöpfung in Produktionsnetzwerken und hebt deren Vorteile in einem digitalen und vernetzten Umfeld hervor. Produktionsnetzwerke profitieren von der Digitalisierung durch verbesserte Datensteuerung und ermöglichen flexible, effiziente Reaktionen auf Marktveränderungen. Der Ansatz der service-orientierten Fertigung integriert Dienstleistungen in den Produktionsprozess, um Kundenbedürfnisse besser zu erfüllen und die Kundenzufriedenheit zu steigern. Manufacturing-as-a-Service (MaaS) transformiert traditionelle Lieferketten in adaptive Netzwerke und nutzt Cloud Manufacturing, um kosteneffektive und skalierbare Lösungen zu bieten. Der Artikel diskutiert die Potenziale von MaaS, wie verbesserte Reaktionsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit, sowie die Herausforderungen bei der Einführung, einschließlich technischer und organisatorischer Barrieren und der Notwendigkeit für qualifiziertes Personal.

Die zukünftige Implementierung der service-orientierten Wertschöpfung wird von der Entwicklung technischer Lösungen und Plattformen abhängen, die eine effiziente Vernetzung und Datenverarbeitung ermöglichen. Der Einsatz von Daten- und Service-Ökosystemen, wie Pontus-X, kann als Wegbereiter für MaaS dienen, indem es die Zusammenarbeit zwischen Dienstleistern und Kunden verbessert. Unternehmen müssen bereit sein, ihre Geschäftsmodelle zu adaptieren und neue Kooperationen einzugehen, um die Vorteile der service-orientierten Ansätze voll auszuschöpfen. Die Integration von Smart Contracts und Compute-to-Data-Technologien wird die Effizienz und Sicherheit in der industriellen Nutzung erhöhen. Produzierende Unternehmen in Deutschland und die europäische Wirtschaft insgesamt können durch diese Ansätze gestärkt werden, indem innovative und nachhaltige Wertschöpfungsmodelle realisierbar werden.

**Förderhinweis:** Europäische Kommission – Horizon Europe Forschungs- und Innovationsprogramm (HORIZON CL4-2023-TWIN-TRANSITION-01-07), Projekt ACCURATE (Achieving Resilience through Manufacturing as a Service, Digital Twins and Ecosystems), Förderkennzeichen 101138269

### Literatur

[1] Qin, J.; Liu, Y.; Grosvenor, R.: A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP* 52 (2016), S. 173–

- [2] Cascio, J.: Facing the Age of Chaos. Stand: 29.04.2020. Internet: <https://medium.com/@cascio/facing-the-age-of-chaos-b00687b1f51d>. Zugriff am 17.02.2025
- [3] Kusiak, A.: Service manufacturing: Basic concepts and technologies. *Journal of Manufacturing Systems* 52 (2019), S. 198–204
- [4] Tenzer, F.: Volumen der jährlich generierten/replizierten digitalen Datenmenge weltweit von 2010 bis 2022 und Prognose bis 2027. Hamburg 2023. Internet: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/267974/umfrage/prognose-zum-weltweit-generierten-datenvolumen/>
- [5] Otto, B.; Korte, T.; Azkan, C. et al.: Data Economy. Status Quo der deutschen Wirtschaft & Handlungsfelder in der Data Economy. Köln 2019
- [6] Demary, V.; Fritsch, M.; Goecke, H. et al.: Readiness Data Economy. Bereitschaft der deutschen Unternehmen für die Teilhabe an der Datenwirtschaft. Köln 2019
- [7] Esmailian, B.; Behdad, S.; Wang, B.: The evolution and future of manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems* 39 (2016), S. 79–100
- [8] Schuh, G.; Friedli, T.; Lanza, G. et al.: Zukunftsfähige Produktionsnetzwerke in disruptiven Zeiten. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 117 (2022) 12, 794–798
- [9] Peukert, S.; Martin, M.; Prank, S. et al.: Kreislauffähige Produktionsnetzwerke. Entscheidungsunterstützung zur Umsetzung zirkulärer Ökosysteme. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 119 (2024) 12, S. 885–889
- [10] Martin, M.; Benfer, M.; Peukert, S. et al.: A Changeable Decision Support System Based on Data Models for Global Production Networks. *Procedia CIRP* 120 (2023), S. 684–689
- [11] Hertwig, M.; Zimmermann, N.; Lentès, J.: Method for development of sustainable relations of manufacturing companies in industrial estates. 24th International Conference on Production Research, ICPR 2017 (2017)
- [12] Verhaelen, B.; Martin, M.; Peukert, S. et al.: Practice-oriented methodology for increasing production ramp-up efficiency in global production networks of SME. *Production Engineering* 17 (2023) 1, S. 145–177
- [13] Gao, J.; Yao, Y.; Zhu, V. C. Y. et al.: Service-oriented manufacturing: a new product pattern and manufacturing paradigm. *Journal of Intelligent Manufacturing* 22 (2011) 3, S. 435–446
- [14] Mamasioulas, A.; Mourtzis, D.; Chryssolouris, G.: A manufacturing innovation overview: concepts, models and metrics. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 33 (2020) 8, S. 769–791
- [15] Bask, A.; Lipponen, M.; Rajahonka, M. et al.: The concept of modularity: Diffusion from manufacturing to service production. *Journal of Manufacturing Technology Management* 21 (2010) 3, S. 355–375
- [16] Yuan, M.; Zhou, Z.; Cai, X. et al.: Service composition model and method in cloud manufacturing. *ROBOTICS AND COMPUTER-INTEGRATED MANUFACTURING* 61 (2020), S. 101840
- [17] Henzel, R.; Herzwurm, G.: Cloud Manufacturing: A state-of-the-art survey of current issues. *Procedia CIRP* 72 (2018), S. 947–952
- [18] Schuseil, F.; Hertwig, M.; Lentès, J. et al.: A semantic matchmaking approach to empower human decision-making in Manufacturing-as-a-Service scenarios. 2024 AHFE International Conference on Human Factors in Design, Engineering, and Computing (AHFE 2024 Hawaii Edition), 2024
- [19] Kusiak, A.: Service manufacturing = Process-as-a-Service + Manufacturing Operations-as-a-Service. *Journal of Intelligent Manufacturing* 31 (2020) 1, S. 1–2
- [20] Baghbani, M.: IDEFO Modeling Standard: A Tool for Process Map Drawing under Requirements of ISO 9001:2015. A Case Study. *Journal of Modern Processes in Manufacturing and Production*, 8 (2019) 4, S. 57–66
- [21] Herold, D. M.; Marzantowicz, Ł.: Supply chain responses to global disruptions and its ripple effects: an institutional complexity perspective. *Operations Management Research* 16 (2023) 4, S. 2213–2224
- [22] Melnyk, S. A.; Closs, D. J.; Griffis, S. E. et al.: Understanding Supply. *Supply Chain Management Review* (2014) January/February, S. 34–41
- [23] Deutsches Institut für Normung: Circular Thinking in Standards. Wie Normung eine Circular Economy unterstützen kann. Berlin 2025. Internet: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/circular-economy/normenrecherche/modell-der-strategien#:~:text=Alle%20R%2DStrategien%20haben%20das,Einsatz%20von%20Sekund%C3%A4rrohstoffen%20zu%20F%20B%20rdern.&text=Alle%20R%2DStrategien%20haben%20zum,Kreislauff%C3%BChrung%20von%20Materialien%20zu%20unterst%C3%BCtzen>. Zugriff am 24.03.2025
- [24] Castelo-Branco, I.; Cruz-Jesus, F.; Oliveira, T.: Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry* 107 (2019), S. 22–32
- [25] Xu, X.; Lu, Y.; Vogel-Heuser, B. et al.: Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems* 61 (2021), S. 530–535
- [26] Hertwig, M.; Schuseil, F.; Lentès, J. et al.: Ontology-based matchmaking and resource scheduling for Manufacturing as a Service. In: 58th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2025
- [27] Dumss, S.; Weber, M.; Schwaiger, C. et al.: EuProGigant – A Concept Towards an Industrial System Architecture for Data-Driven Production Systems. *Procedia CIRP* 104 (2021), S. 324–329
- [28] Hoffmann, F.; Weber, M.; Weigold, M. et al.: Developing GAIA-X Business Models for Production. Hannover: publish-Ing 2022
- [29] Perscheid, G.; Moormann, J.: Dezentrale Plattformen – Idee, Entwicklung, Perspektiven. *BIT* (2021) 2, S. 67–76
- [30] Gast, F.; Berchtenbreiter, V.; Dumss, S. et al.: Automatic Publication of Data to Data- and Service Ecosystems from the Shopfloor. *Procedia CIRP* 130 (2024), S. 1589–1597
- [31] Ocean Protocol Foundation: Architecture. Architecture overview. Ocean protocol. Stand: 10.09.2024. Internet: <https://docs.oceanprotocol.com/developers/compute-to-data/compute-to-data-architecture>. Zugriff am 12.03.2025
- [32] Kaniovskiy, Y.; Koehler, M.; Benkner, S.: A containerized analytics framework for data and compute-intensive pipeline applications. SIGMOD/PODS'17: International Conference on Management of Data, Chicago IL USA, 2017, S. 1–10
- [33] Gehrler, R.; Dumss, S.; Gast, F. et al.: EuProGigant: A decentralized Federated Learning Approach based on Compute-to-Data and Gaia-X. *Procedia CIRP* 128 (2024), S. 710–715

Dr.-Ing. Michael M. Hertwig [0000-0003-0534-098X], Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (<https://ror.org/01nh64743>), Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart, +49 711 970-2288, [michael.hertwig@iao.fraunhofer.de](mailto:michael.hertwig@iao.fraunhofer.de), [www.engineering.iao.fraunhofer.de](http://www.engineering.iao.fraunhofer.de)

Dr.-Ing. Joachim Lentès [0000-0003-1018-7668], Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (<https://ror.org/01nh64743>), Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart, +49 711 970-2285, [joachim.lentes@iao.fraunhofer.de](mailto:joachim.lentes@iao.fraunhofer.de)

Thomas Komenda, deltaDAO AG, Katharinenstraße 30a (Contor), 20457 Hamburg, +49176 64219492, [thomas@delta-dao.com](mailto:thomas@delta-dao.com)

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Dr.-Ing. Michael Hertwig

Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart

E-Mail: [michael.hertwig@iao.fraunhofer.de](mailto:michael.hertwig@iao.fraunhofer.de)

Tel: +49 711 970-2288



### Kurz-Bio

Michael Hertwig studierte Produktionstechnik an der Berufsakademie in Eisenach. Sein Zweitstudium absolvierte er im Maschinenbau an der Universität Stuttgart, mit den Schwerpunkten Feinwerktechnik und Mikrosystemtechnik.

Seit 2014 ist er am Fraunhofer IAO tätig. Seine Expertise ist die industrielle Transformation mit Fokus auf Nachhaltigkeit. Er analysiert neue Technologien und unterstützt Unternehmen bei der Identifikation geeigneter Technologien für ihren Transformationsbedarf. In Industrie- und Transformationsprojekten entwickelt er Strategien zur Einführung von Digitalisierungstechnologien und Nachhaltigkeitsaspekten.

Seine Forschung befasst sich mit einem systemischen Denkansatz, um Unternehmen dabei zu unterstützen, Vorteile aus einer ganzheitlichen Perspektive zu schaffen. Gemeinsam mit seinen Kollegen entwickelt er Ansätze zur verstärkten Nutzung von Digitalisierung und IT-basierten Systemen zur Erhöhung der Transparenz entlang der Wertschöpfungsketten und der innerbetrieblichen und überbetrieblichen Wertschöpfungsprozesse.

Außerdem war er Vorstandsmitglied des Vereins Deutscher Ingenieure, im größten Bezirksverein in Baden-Württemberg. Er unterstützte Aktivitäten mit den thematischen Schwerpunkten Nachhaltigkeit, grüner Technologie und urbane Produktion. Darüber hinaus ist er als Referent tätig und verfasst regelmäßig wissenschaftliche Artikel.

Dr.-Ing. Joachim Lentjes

Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart

E-Mail: [joachim.lentes@iao.fraunhofer.de](mailto:joachim.lentes@iao.fraunhofer.de)

Tel: +49 711 970-2283



### Kurz-Bio

Joachim Lentjes ist Fachreferent Digital Manufacturing am Fraunhofer IAO und Lehrbeauftragter an der Universität Stuttgart. Außerdem ist er ehrenamtlicher Berater der deutsch-chinesischen KMU-Kooperationszone Chengdu. Er ist Gutachter für internationale Konferenzen und Zeitschriften wie das International Journal of Production Research. Joachim Lentjes war operativer Leiter des Fraunhofer-Innovationsclusters Digitale Produktion und initiiert und leitet seit vielen Jahren Forschungsprojekte für die Europäische Kommission, nationale Förderorganisationen und namhafte Industrieunternehmen im In- und Ausland. Mit mehr als 70 wissenschaftlichen Publikationen hat Joachim Lentjes Preise wie

den Best Paper Award der Internationalen Konferenz für Produktionsforschung ICPR2019 und die IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems APMS2014 gewonnen. Zu den weiteren Auszeichnungen zählt der CES-Award 2004 des VDI Deutschland (Verein Deutscher Ingenieure e.V.). Seine Forschungsarbeiten befassen sich insbesondere mit der Produkt- und Produktionstechnik der Zukunft mit innovativen Strategien, Verfahren, Methoden und Werkzeugen. Dazu untersucht er strategische Ansätze wie Industry 4.0, Urban Manufacturing und Crowd Engineering sowie Technologien wie semantische Systeme und künstliche Intelligenz.

deltaDAO AG

Thomas Komenda, M.Sc.

Katharinenstraße 30a | 20457 Hamburg

E-Mail: [thomas@delta-dao.com](mailto:thomas@delta-dao.com)

Tel: +49 151 43272187



### Kurz-Bio

Thomas Komenda: arbeitet als Business Developer und Product Owner bei der deltaDAO AG. Mit einem Master-Abschluss in Wirtschaftsingenieurwesen mit Schwerpunkt Maschinenbau hat er an verschiedenen DSÖ-Projekten mitgewirkt, darunter ACCURATE, EuProGigant, COOPERANTS, Gaia-X4FutureMobility moveID und andere. Seit 2023 ist er für das Projektmanagement und die Produktverantwortung im Rahmen des Horizon Europe-Projekts ACCURATE verantwortlich, während er seit 2022 auch die Geschäftsfeldentwicklung bei deltaDAO vorantreibt.